


SISTEM RESPIRASI

Yoke Saadia Irawan
Allya Paramita Koesoema

Pokok bahasan

1. Introduksi
2. Fungsi
3. Organisasi Sistem Respirasi
4. Komponen Sistem respirasi
5. Epitel Sistem respirasi & Membran Sistem respirasi
6. Vaskularisasi Sistem respirasi 
7. Pertahanan pada Sistem Respirasi
8. Hukum Fisika pada Sistem Respirasi
9. Volume dan Kapasitas Paru
10. Mekanik Pernafasan
11. Pertukaran Gas
12. Pengambilan dan Pengantaran Gas
13. Kontrol Respirasi

I. Introduksi

I.1. Introduksi



Untuk hidup, tumbuh dan berkembang biak, sel membutuhkan energi yang didapat melalui mekanisme yang menggunakan **oksigen** dan menghasilkan **karbon dioksida**



Oksigen didapat dari udara yang berdifusi ke dalam darah melalui 'permukaan pertukaran' yang terdapat pada paru

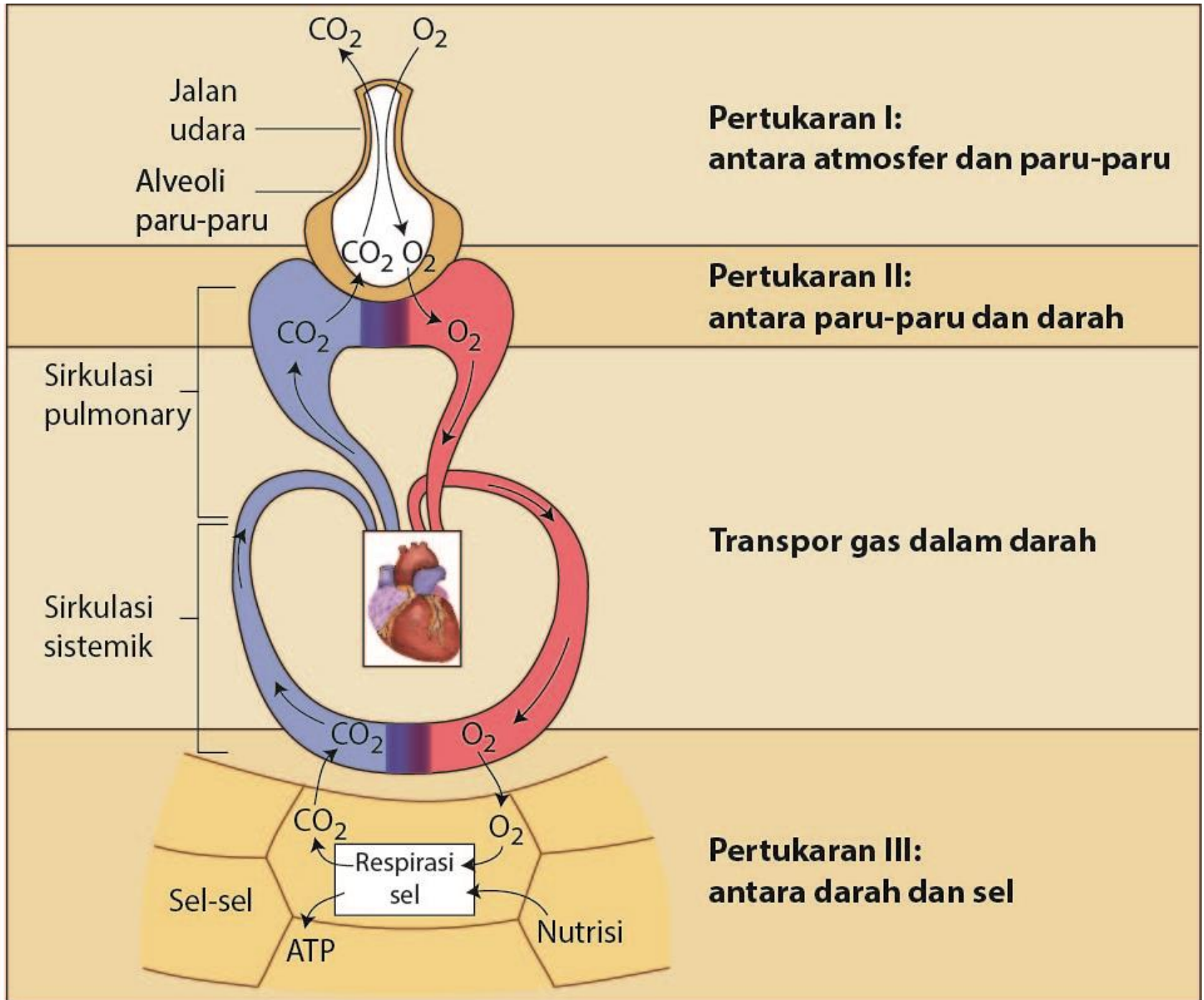


Oksigen yang berdifusi dibawa ke seluruh sel tubuh oleh sistem kardiovaskular yang juga bertugas membawa karbon dioksida dari sel ke paru supaya dapat berdifusi menuju ke lingkungan eksterna

Tahapan Respirasi

Respirasi mengacu pada dua tahapan yang terintegrasi yaitu:

- Respirasi eksterna:
 - Gerak udara antara lingkungan eksterna dan sel tubuh
 - Terdiri dari 4 proses yang terintegrasi:
 - Pertukaran I (ventilasi): pertukaran udara antara atmosfer dan alveoli secara *bulk flow*. Terdiri dari inspirasi dan ekspirasi
 - Pertukaran II: antara paru dan darah secara difusi
 - Transpor O₂ dan CO₂ dalam darah
 - Pertukaran III: antara darah dan sel secara difusi
 - Respirasi eksterna membutuhkan koordinasi antara sistem respirasi dan sistem cardiovascular
- Respirasi selular: reaksi O₂ dan molekul organik didalam sel untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP, CO₂ dan air



Mekanisme pada Respirasi

Proses yang terjadi pada sistem respirasi dapat dibedakan menjadi:

- Proses mekanik; pergerakan udara keluar-masuk paru. Terjadi pada proses ventilasi
- Proses fisika;
 - difusi gas dari konsentrasi yang lebih tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Terjadi pada proses pertukaran oksigen dan karbon dioksida antara alveoli dengan kapiler dan antara sel dan kapiler
- Proses kimia;
 - Bentuk gas yang diangkut dari paru menuju sel dan sebaliknya

Siklus Respirasi

- Satu siklus respirasi terdiri dari:
 - inspirasi (inhalasi)
 - ekspirasi (ekshalasi)
- Kontraksi otot pernafasan dan diafragma > volume rongga dada membesar > tekanan rongga dada menurun > udara di luar tubuh mengalir ke paru.
- Relaksasi otot pernafasan dan diafragma > volume rongga dada menurun > tekanan rongga dada meningkat > udara di paru mengalir keluar tubuh

Sistem Respirasi

- Aliran udara dari daerah yang bertekanan lebih tinggi ke daerah yang bertekanan lebih rendah
- Gradien tekanan dihasilkan oleh aktifitas otot respirasi
- Resistensi terhadap aliran terutama dipengaruhi oleh diameter jalan nafas

Sistem Cardiovascular

- Aliran darah dari daerah yang bertekanan lebih tinggi ke daerah yang bertekanan lebih rendah
- Tekanan dihasilkan oleh aktifitas pompa dari otot jantung
- Resistensi terhadap aliran terutama dipengaruhi oleh diameter pembuluh darah

Sub bab ini berisi penjelasan mengenai fungsi pernafasan secara umum

II. FUNGSI

II. Fungsi

Menyediakan permukaan untuk pertukaran gas antara atmosfer dan darah yang sedang bersirkulasi

Melindungi permukaan respirasi dari lingkungan eksterna

Regulasi homeostasis pH tubuh

Produksi suara

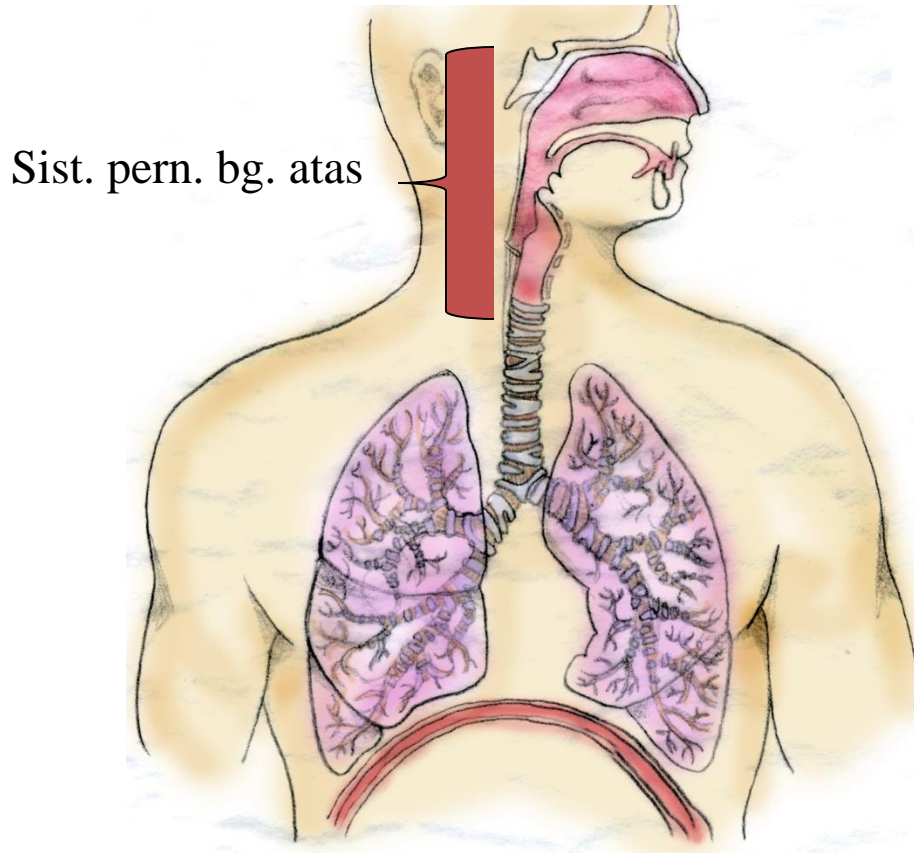
Partisipasi pada indera penciuman

Sub bab ini berisi penjelasan mengenai organisasi sistem respirasi beserta fungsinya

III. ORGANISASI SISTEM RESPIRASI

III. Organisasi sistem respirasi

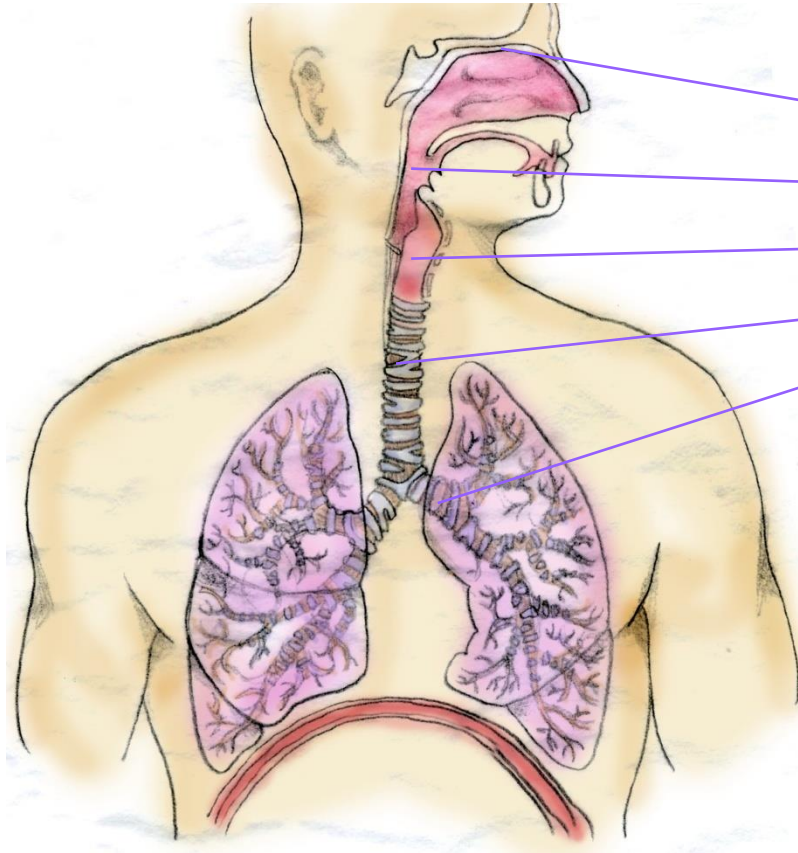
III.1. Organisasi Struktural



- Secara struktural dibagi menjadi:
 - Sist. pernafasan bag. atas (dari rongga hidung sampai larynx)
 - Sist. pernafasan bag. bawah (dimulai dari larynx)

III. Organisasi sistem respirasi

III. 2. Organisasi fungsional



Organ-organ sistem respirasi:

- Zona Konduksi:
 - Rongga hidung
 - Pharynx
 - Larynx
 - Trachea
 - Bronchus primer
 - Bronchus sekunder
 - Bronchus tersier (Bronchus segmentalis)
 - Bronchiolus
 - Bronchiolus terminalis
- Zona Respirasi:
 - Bronchiolus respiratorius
 - Ductus alveolaris
 - Sacculus alveolaris
 - Alveolus

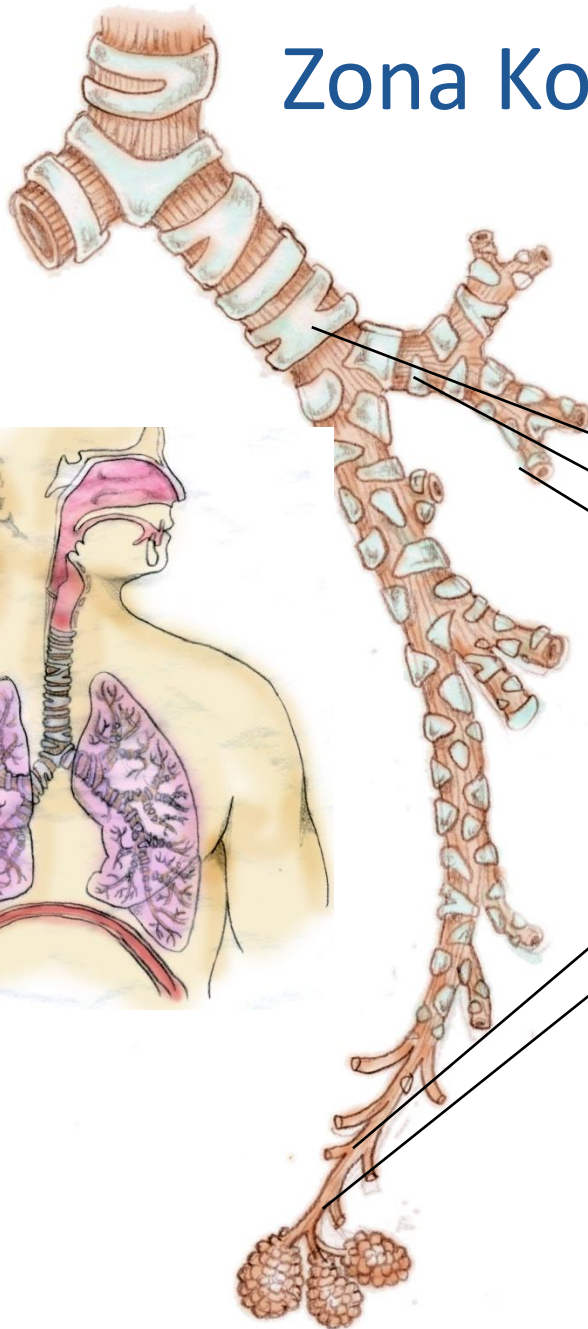
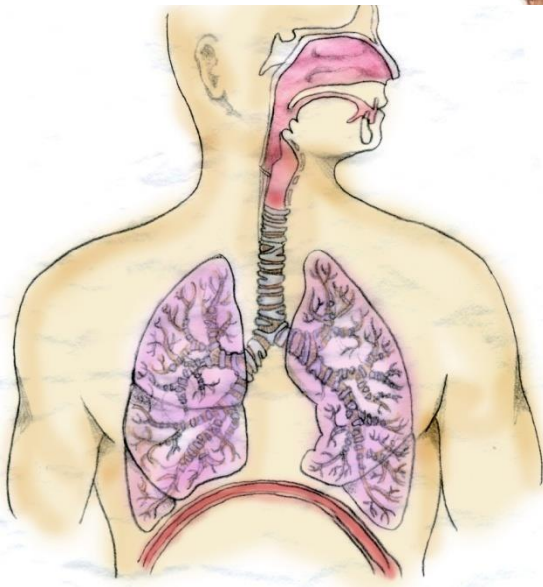
IV. KOMPONEN

IV. Komponen Sistem Respirasi:

Komponen Sistem respirasi terdiri dari:

1. Saluran nafas: dari lingkungan eksterna sampai ke permukaan paru
2. Paru: alveoli: kantung-kantung yang diselimuti dengan kapiler sehingga dapat terjadi pertukaran gas
3. Torak/rongga dada serta abdomen: Struktur yang bertanggung jawab terhadap masuk-keluarnya udara

Zona Konduksi:



Zona Konduksi

- Rongga hidung
- Pharynx
- Larynx
- Trachea
- Bronchus primer
- Bronchus sekunder
- Bronchus tersier
- Bronchiolus
- Bronchiolus terminalis



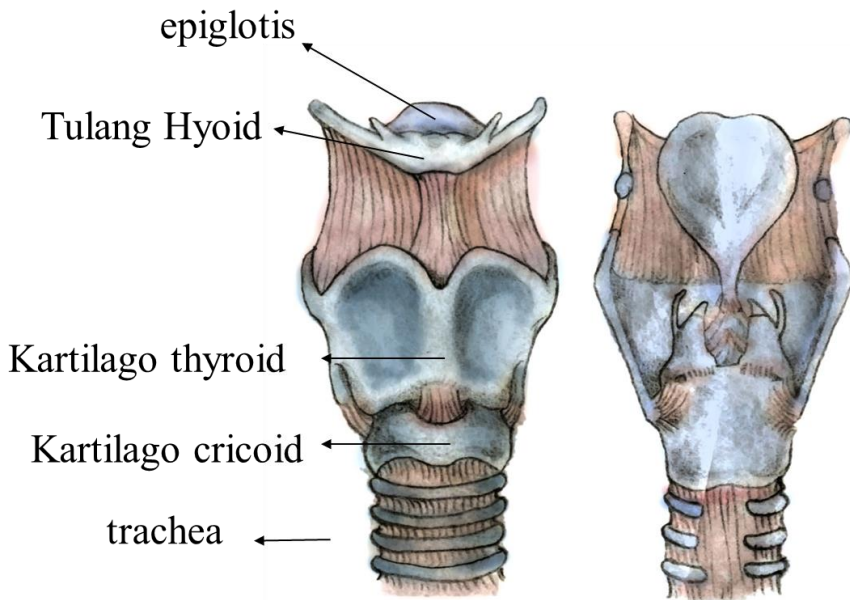
IV.1.1. Saluran Nafas: Hidung

- Udara memasuki sistem respirasi melalui nostrils atau nares eksternal ke vestibule yang berisi sistem filtrasi pertama yaitu rambut hidung
- Septum nasal membagi rongga hidung menjadi kanan dan kiri
- Sekresi mukus dan sinus paranasal dan air mata melembabkan dan membersihkan rongga hidung
- Bagian superior rongga hidung adalah regio olfactory yang menyediakan reseptor bau

IV.1.2. Saluran Nafas: Farynx

- Ruang yang dipakai bersama oleh sistem respirasi dan sistem digestif
- Perluasan dari internal nares ke jalan masuk ke larynx dan esophagus
- Divisi farynx:
 - Nasofarynx
 - Orofarynx
 - Laryngofarynx
- Udara mengalir dari farynx memasuki larynx

IV.1.3. Saluran Nafas: Larynx

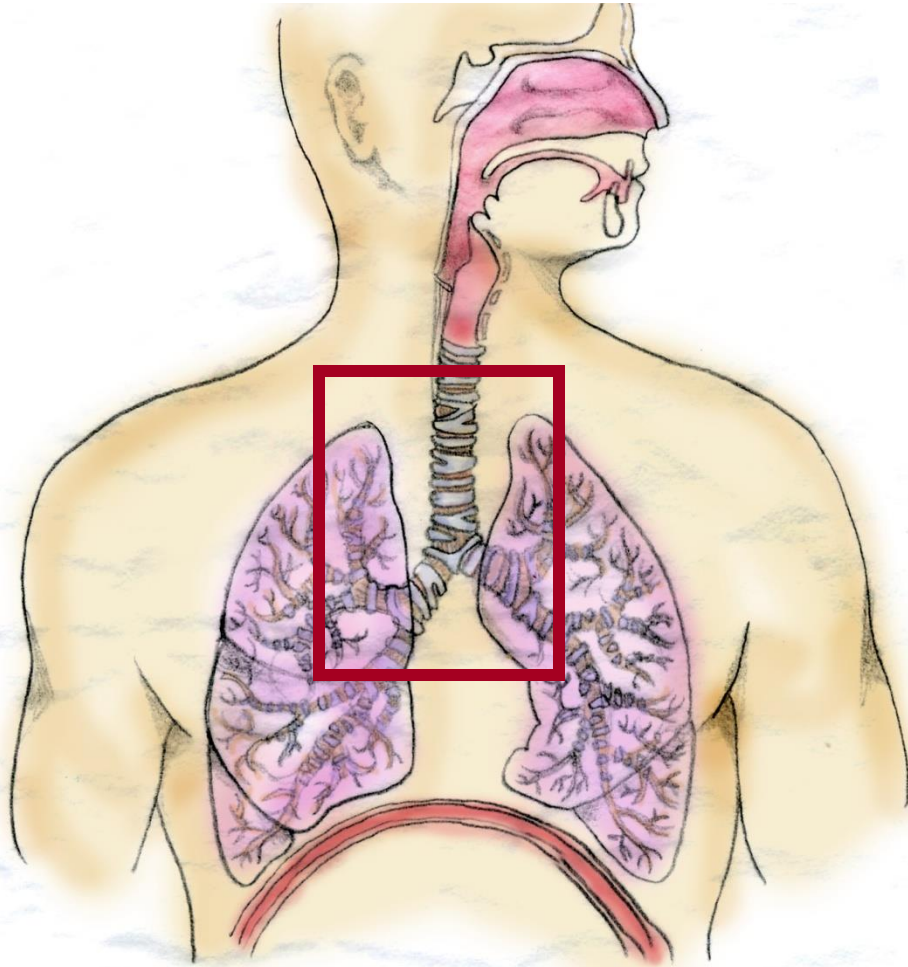


- 3 kartilago besar yang tidak berpasangan yaitu:
 - Kartilago thyroid
 - Kartilago cricoid
 - Epiglottis
- Fungsi kartilago Thyroid dan cricoid yaitu untuk menyokong dan memproteksi glottis dan jalan masuk ke trachea
 - Sewaktu menelan, larynx mengadakan elevasi dan epiglottis terlipat kebelakang menutupi glottis
 - Mencegah masuknya makanan dan cairan ke saluran respirasi

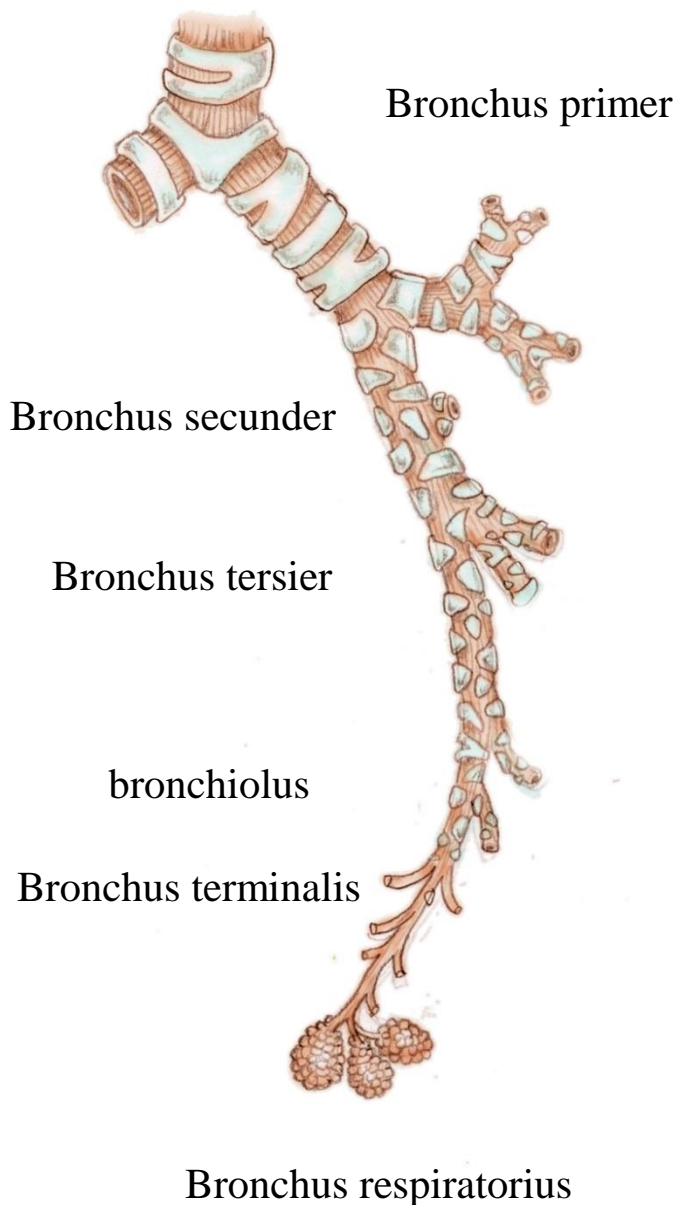
IV.1.4. Trachea

- Disebut juga *windpipe*
- Masuk ke mediastinum dan bercabang menjadi bronchus principalis sinister dan dexter
- Submucosa yang melapisi trachea berisi kelenjar mukus
- Tulang rawan tracheal tidak melingkari trachea secara penuh tetapi terhenti pada tempat dimana trachea bersentuhan dengan esophagus. Akhir dari tulang rawan dihubungkan dengan ligamen elastis dan otot trachealis



IV.1.5. Bronchial tree



- Bronchus kiri dan kanan dipisahkan oleh carina (internal ridge)
- Bronchus primer dextra:
 - Diameternya lebih besar dari yang kiri
 - Sudutnya lebih curam
- Setiap bronchus primer berjalan menuju hilus sepanjang permukaan medial paru
- Dinding bronkus, bronchiolus sekunder dan tersier secara progresif struktur kartilagonya berkurang tetapi struktur otot polosnya bertambah sehingga akan meningkatkan efek muskular dalam kontriksi dan resistensi jalan nafas.



- Bronkus primer beserta cabang-cabang-nya disebut *bronchial tree*. Cabang se-belum masuk paru disebut extrapulmonary bronchi, sesudah berada didalam paru disebut intrapulmonary bronchi
- Bronkus Primer bercabang-cabang membentuk bronchus sekunder (lobar bronchi) dimana tiap bronchus sekunder akan menuju tiap lobus
- Bronchus sekunder bercabang membentuk bronkus tersier (segmental bronchi) dimana tiap segmen bronkus akan men-suplai udara ke tiap segmen bronchopulmoner
- Bronchus tersier bercabang menjadi multipel bronchiolus
- Bronchioles bercabang menjadi terminal bronchioles:
- Paru kanan punya 10 segmental bronchi sedangkan paru kiri punya 8 atau 9

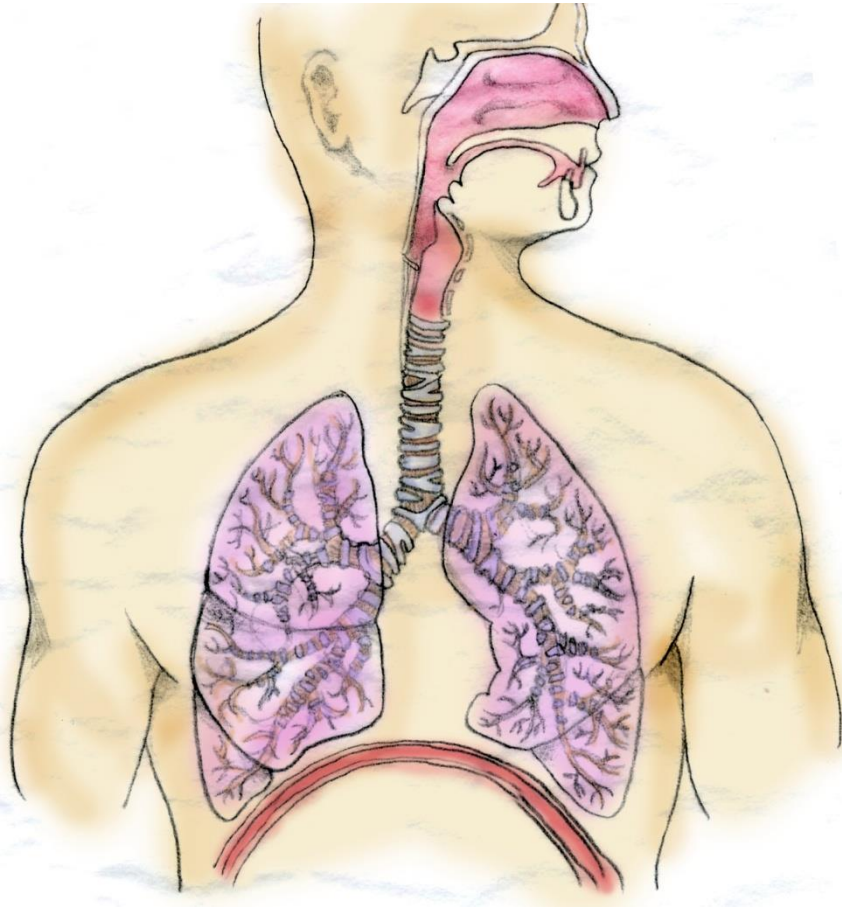
		Nama	Divisi	Diameter (mm)	Berapa banyak?	Luas penampang melintang (cm ²)
Sistem conducting		Trakea	0	15-22	1	2.5
		Bronkus primer	1	10-15	2	
		Bronkus yang lebih kecil	2	1-10	4	
			3			
			4			
			5			
		Bronkiolus	6-11	1 x 10 ⁴		
Permukaan pertukaran		2 x 10 ⁴	100			
		8 x 10 ⁷	5 x 10 ³			
	Alveoli	24	0.3	3-6 x 10 ⁸	>1 x 10 ⁶	

- Dalam perjalanannya menuju alveoli, udara yang diinhalasi mengalami penyaringan, penghangatan dan pelembaban. Proses ini dimulai sejak dari jalan masuk sistem respirasi bagian atas dan terus berlangsung hingga akhir sistem konduksi.
- Pada waktu udara sampai ke alveoli, sebagian besar partikel asing dan patogen telah dikeluarkan dan temperatur serta kelembaban udaranya juga sudah berada pada batas yang seharusnya.
- Proses ini terutama dikarenakan oleh sifat mukosa sistem respirasi
- Supaya pertukaran gas berlangsung efisien, dinding alveoli harus sangat tipis dan permukaannya sangat luas

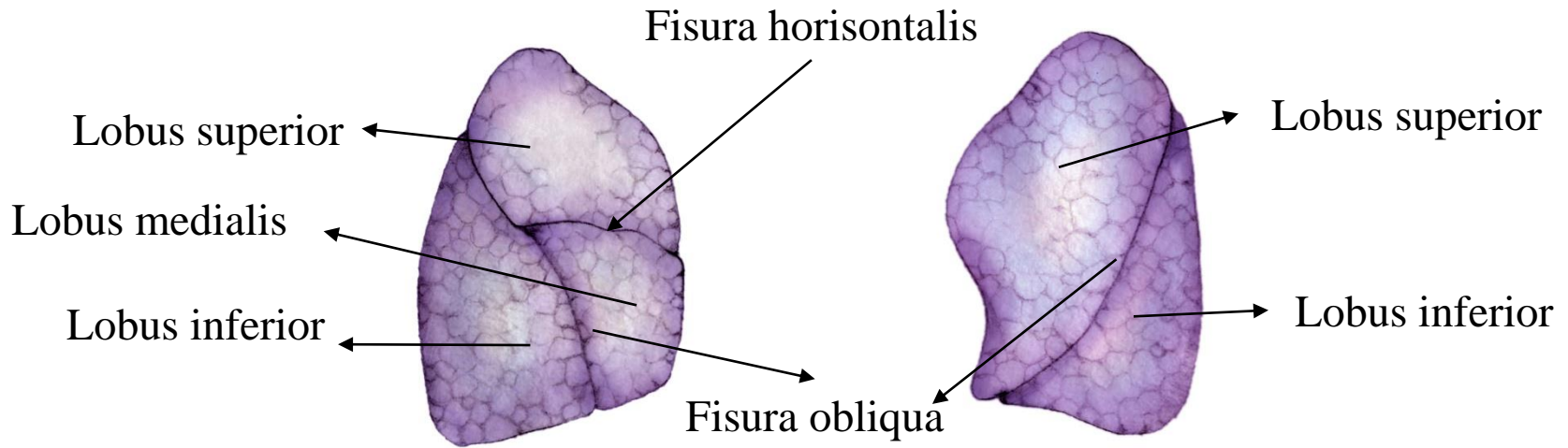
IV.2. Paru

- Paru merupakan *light, spongy tissue* yang memenuhi rongga toraks dan didalamnya terdapat bronchi yang merupakan jalur konduksi semi rigid yang menghubungkannya dengan trachea
- Tiap paru berada dalam rongga pleura yang terdiri dari dua lapis membran serosa yaitu:
 - pleura parietalis, menempel pada rongga dada
 - pleura visceralis, menempel pada paru
- Tiap pleura disusun oleh beberapa lapis jaringan ikat elastik dan kapiler. Diantara kedua membran terdapat pleural fluid
 - Pleura fluid (25 sp 30 mL pada laki-laki 70 kg)
 - Memberikan kelembaban pada permukaan pleura sehingga ketika paru bergerak dalam rongga torak kedua pleura dapat meluncur satu sama lain

IV.2.1. Anatomi Makro dari Paru



- Tubuh mempunyai 2 paru yaitu:
 - Paru kiri dan paru kanan yang masing-masing terdapat dalam rongga dada
- Bagian inferior dari paru terletak pada permukaan superior dari diaphragma



Paru-paru kanan

Lebih luas, tergeser keatas oleh hati

Mempunyai 3 lobus:

superior, tengah, dan inferior

Dipisahkan oleh fisura horizontal dan oblique

Paru-paru Kiri

Lebih panjang, tergeser ke kiri oleh jantung

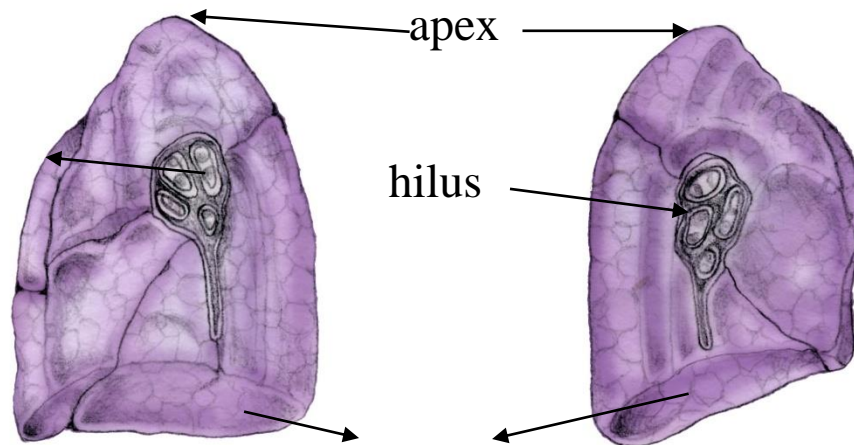
Mempunyai 2 lobus

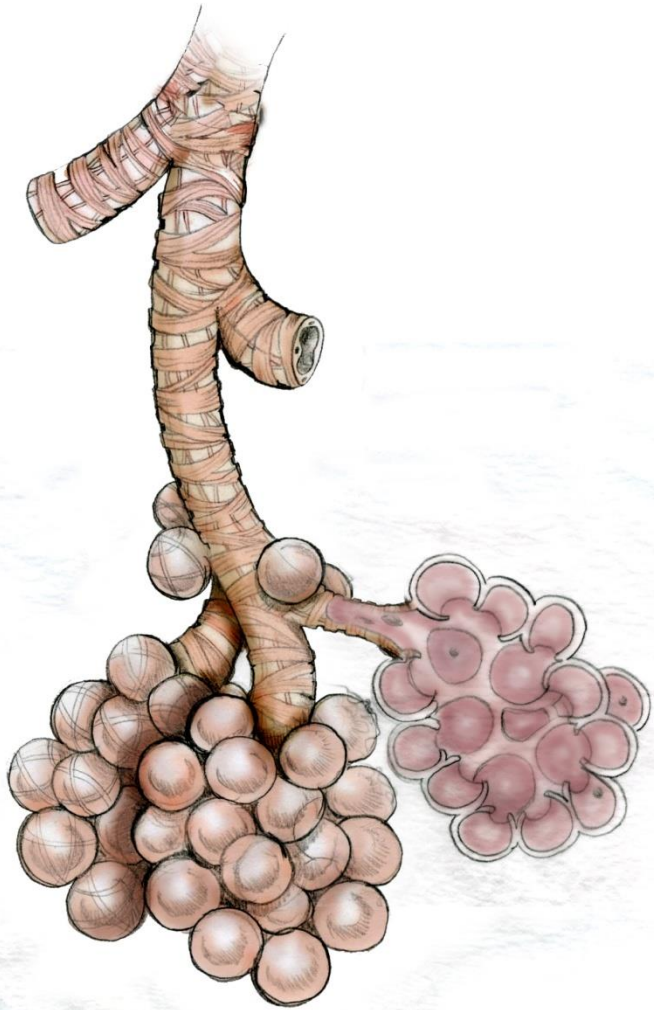
superior dan inferior

Dipisahkan oleh fisura oblique

IV.2.2. Hilus & akar paru

- Hilus adalah tempat dimana saraf, pembuluh darah dan limfe memasuki paru. Hilus melekat pada anyaman jaringan ikat
- Akar paru adalah kumpulan dari jaringan ikat, saraf dan pembuluh di hilus dan melekat di mediastinum

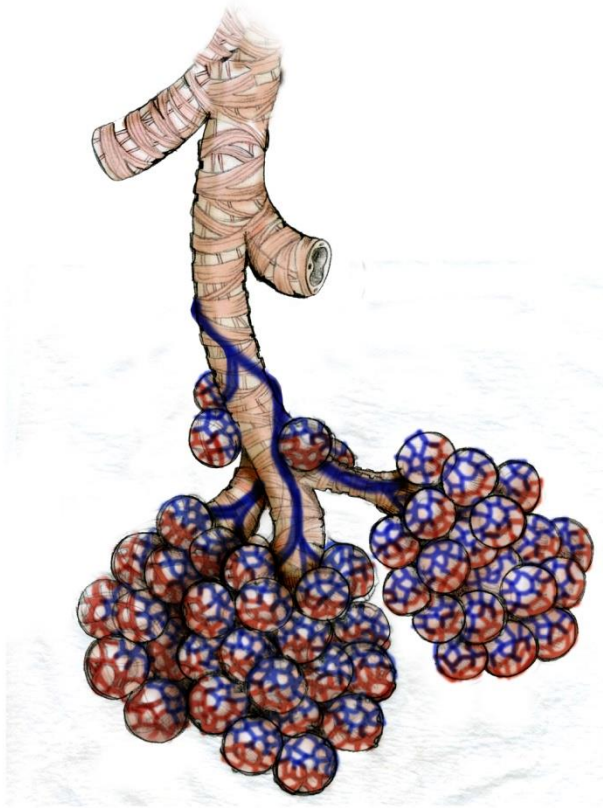




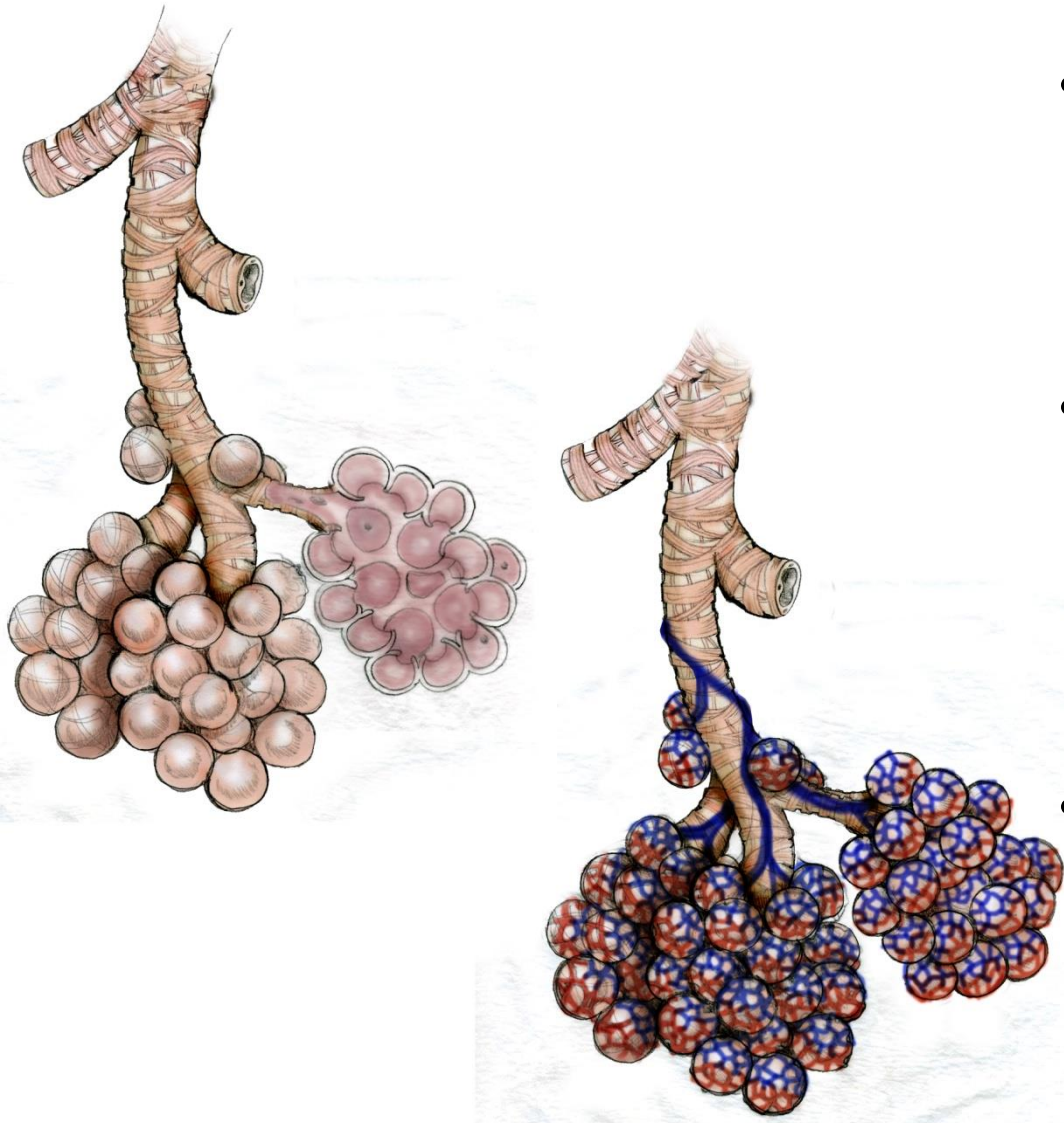
Zona respirasi

- Bronchiolus respiratorius
- Ductus alveolaris
- Sacculus alveolaris
- Alveolus (kantong-kantong udara di dalam paru tempat pertukaran gas berlangsung)
- Pertukaran gas dapat terjadi dengan cepat dan efisien karena jarak antara darah di kapiler dan udara di alveoli $< 0,1 \mu\text{m}$

Lobulus Paru



- Tiap lobulus paru disuplai udara oleh tiap bronchiolus terminal dan juga disuplai oleh arteri dan vena pulmonalis
- Di dalam lobulus paru, tiap bronchiolus terminalis bercabang untuk membentuk beberapa bronchiolus respiratorius yaitu tempat dimana terjadi pertukaran gas



- Bronchiolus respiratorius terhubung dengan alveoli pada sepanjang ductus alveolaris
- Ductus Alveolaris berakhir pada saccus alveolaris yaitu ruangan bersama yang terhubung dengan banyak alveoli individu
- Tiap alveolus dikelilingi oleh anyaman kapiler dan serabut elastis

IV.3. Toraks

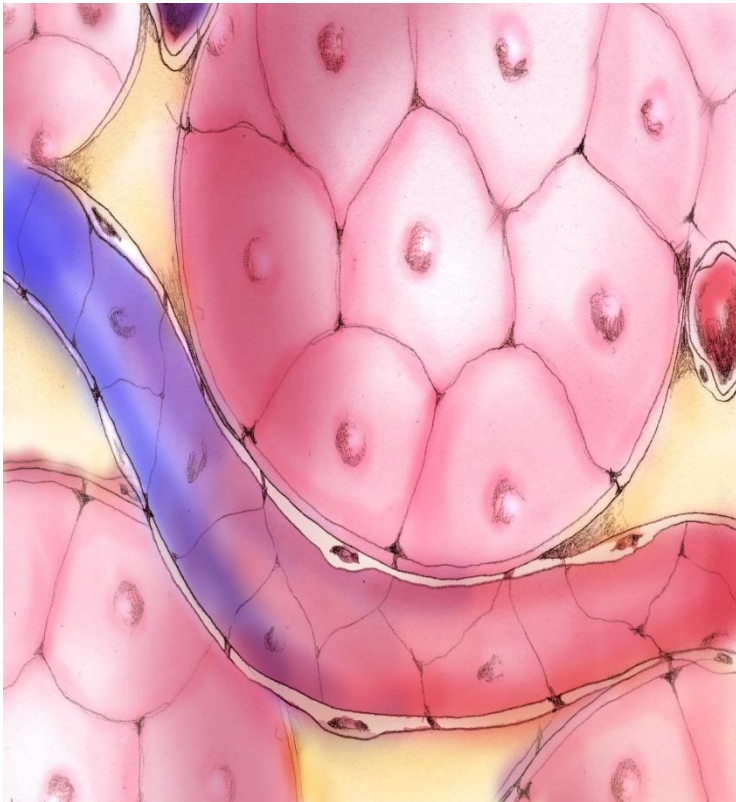
- Rongga Torak: Struktur dada yang bertanggung jawab terhadap masuk-keluarnya udara. Terdiri dari tulang rusuk dan tulang belakang yang membentuk dinding dan atapnya serta diafragma (otot skeletal yang berbentuk kubah) sebagai dasarnya
- Rongga toraks merupakan kantung tertutup yang berisi 3 kantung yi: *pericardial sac* yang berisi jantung serta 2 *pleural sac* yang berisi masing-masing berisi paru
- Terdapat dua pasang otot intercostal yaitu musculus intercosta interna dan eksterna yang menghubungkan 12 pasang tulang iga dan otot tambahan **sternocleidomastoids** dan **scalenes**, yang menghubungkan kepala dan leher dengan sternum dan dua otot iga pertama

V. EPITEL & MEMBRAN SISTEM RESPIRASI

V. Epitel Sistem Respirasi

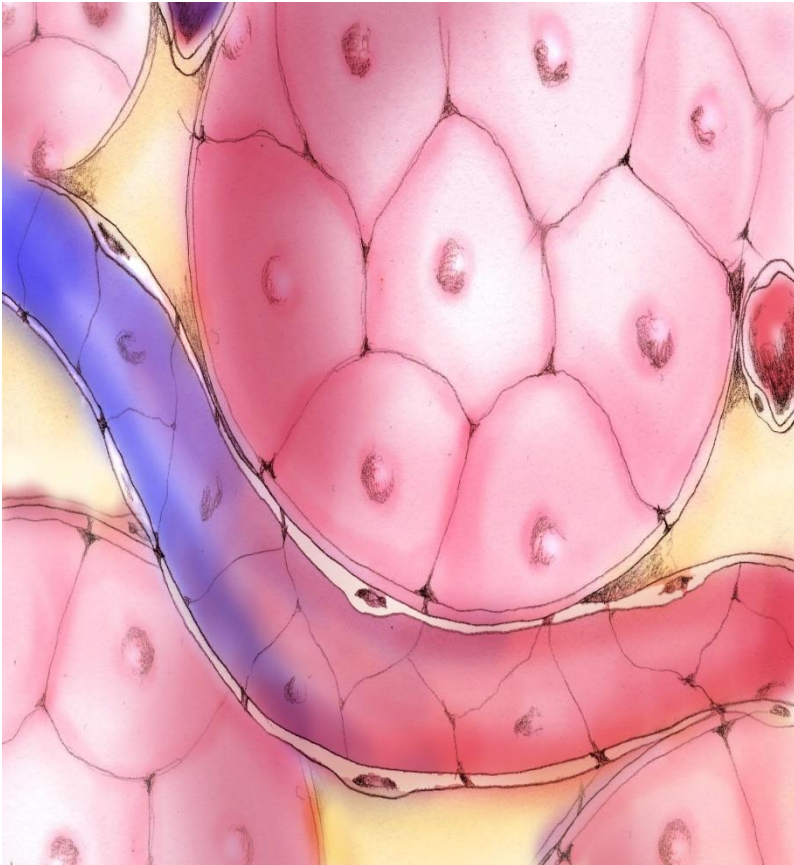
- Struktur epitel berubah sepanjang saluran respirasi
- Zona konduksi dilapisi oleh mukosa respirasi yang terdiri dari lapisan epitel dan lapisan areolar
- Sistem respirasi bagian atas (trachea dan bronchi); Lamina Propria menjadi alas jaringan areolar, dan berisi kelenjar mucos yang mensekresi ke permukaan epitel
- Sistem respirasi bagian bawah; Lamina Propria berisi sel otot polos yang melingkari lumen bronchiolus
- Permukaan pertukaran dari alveoli dilapisi epitel alveolar, yaitu simple squamous epithelium yang halus dan berisi sel khusus yang tersebar

Epitel Alveolus



- Epitel alveoli;
 - adalah simple squamous, dan berisi, delicate Type I cells
 - Patrolled by alveolar macrophages, also called dust cells
 - Contains septal cells (Type II cells) that produce surfactant
- **Surfactant:** adalah sekresi berminyak yang berisi phospholipids dan proteins yang melapisi permukaan alveolar dan mengurangi *surface tension*

Membran Respirasi



- Membran respirasi adalah membran tipis pada alveoli yang menjadi tempat pertukaran gas
- 3 bagian membran respirasi:
 - Squamous epithelial melapisi alveolus
 - Endothelial cells melapisi kapiler yang ada disebelah alveoli
 - Fused basal laminae antara alveolar dan endothelial cells
- Difusi pada membran respirasi terjadi sangat cepat karena jaraknya sangat dekat dan kedua gas (O_2 dan CO_2 adalah lipid soluble

VI. VASKULARISASI

VI. Vaskularisasi

- Sirkulasi pulmonal dimulai dari pulmonary trunk yang kemudian bercabang menjadi arteri pulmonalis kiri dan kanan
- Sirkulasi pulmonal berisi 0,5 L darah (10% dari total volume). 75 ml berada pada kapiler untuk pertukaran gas
- Laju aliran darah pada paru lebih cepat dari pada jaringan lain
- Tekanan darah pada lebih rendah dari tekanan darah sistemik, yaitu 25/8 mmHg karena resistensi pada sirkulasi pulmonal adalah rendah

VI. Vaskularisasi

- Tiap lobulus menerima darah dari arteriole dan venule
 1. Permukaan pertukaran menerima darah dari arteri yang berasal dari sirkuit pulmoner
 2. Tiap alveolus dikelilingi oleh anyaman kapiler yang merupakan bagian dari membran respirasi
 3. Darah yang berasal dari kapiler alveolar melewati venule dan vena pulmoner dan kembali ke atrium kiri
- Kapiler yang disuplai arteri bronchialis menyediakan oksigen dan nutrien untuk jaringan saluran konduksi
- Darah vena langsung ke vena pulmonaris tanpa melalui sirkuit sistemik

VII. PERTAHANAN

VII. Pertahanan pada Sistem Respirasi

- Terdiri dari mekanisme filtrasi yang berurutan untuk membuang partikel dan zat patogen
- Komponen sistem pertahanan respirasi:
 - Filtrasi di rongga hidung membuang partikel2 yang besar
 - Sel Goblet dan kelenjar mucous: produksi mukus yang merendam permukaan yang terekspos
 - Cilia: menyapu debris yang terperangkap di mukus menuju farynx (mucus escalator)
 - Alveolar macrophages memamakan partikel yang mencapai paru

VIII. HUKUM FISIKA PADA SISTEM RESPIRASI

VIII. Hukum Fisika pada Sistem Respirasi

- Aliran udara pada sistem respirasi similar dengan aliran darah pada sistem cardiovascular
 - Gas ideal: $PV = nRT$
 - P = tekanan
 - V = volume
 - n = mole
 - T = temperatur absolut
 - R = konstanta gas universal
- pada tubuh diasumsikan temperatur dan jumlah mole tetap

- **Hukum Dalton:**

Jumlah tekanan campuran gas sama dengan jumlah tekanan gas secara individu

- Tekanan gas individu dalam satu campuran gas disebut tekanan parsial
- Gas bergerak secara bulk flow menuruni gradien konsentrasinya
- Difusi gas menuruni gradien konsentrasinya (partial pressure) sesuai dengan gas masing-masing



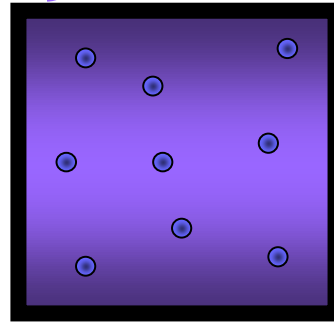
Hukum Boyle:

mengekspresikan hubungan terbalik antara tekanan dan volume

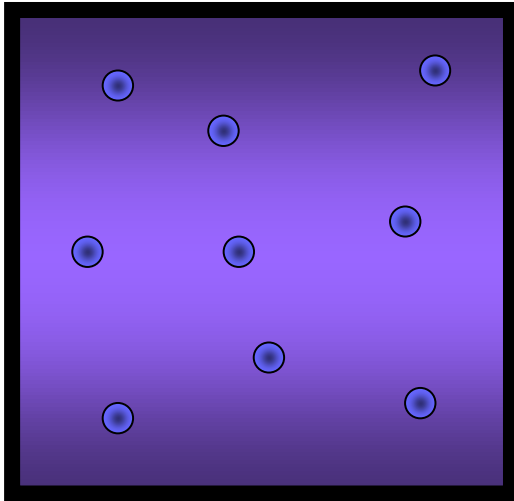
- $P = 1/V$

Boyle's Law; $P = 1/V$

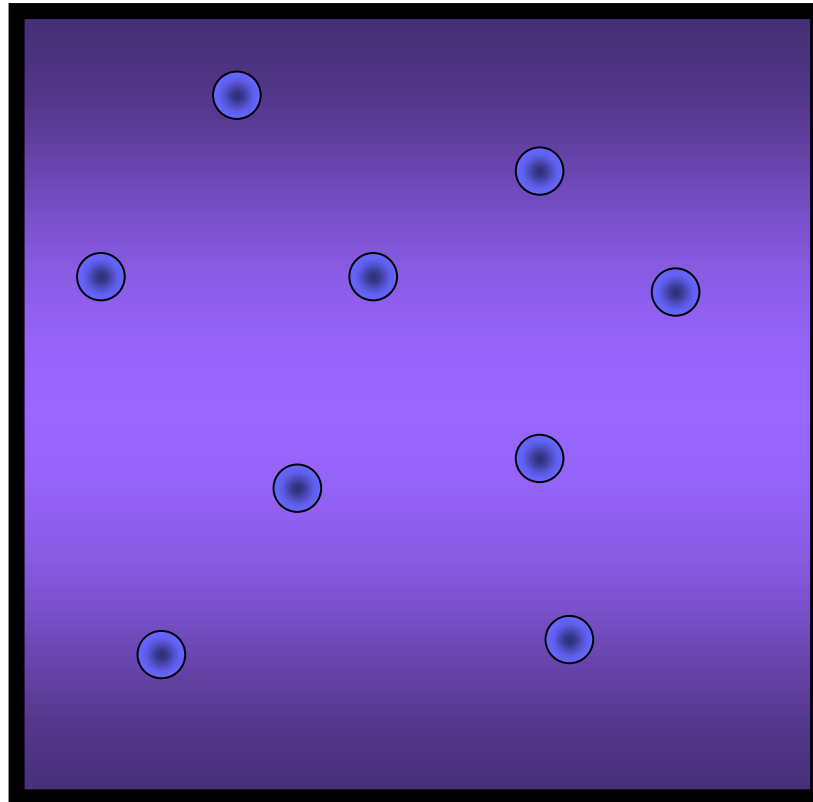
Decreasing volume
increases collision
& increases
pressure



Vol \downarrow , tekanan \uparrow



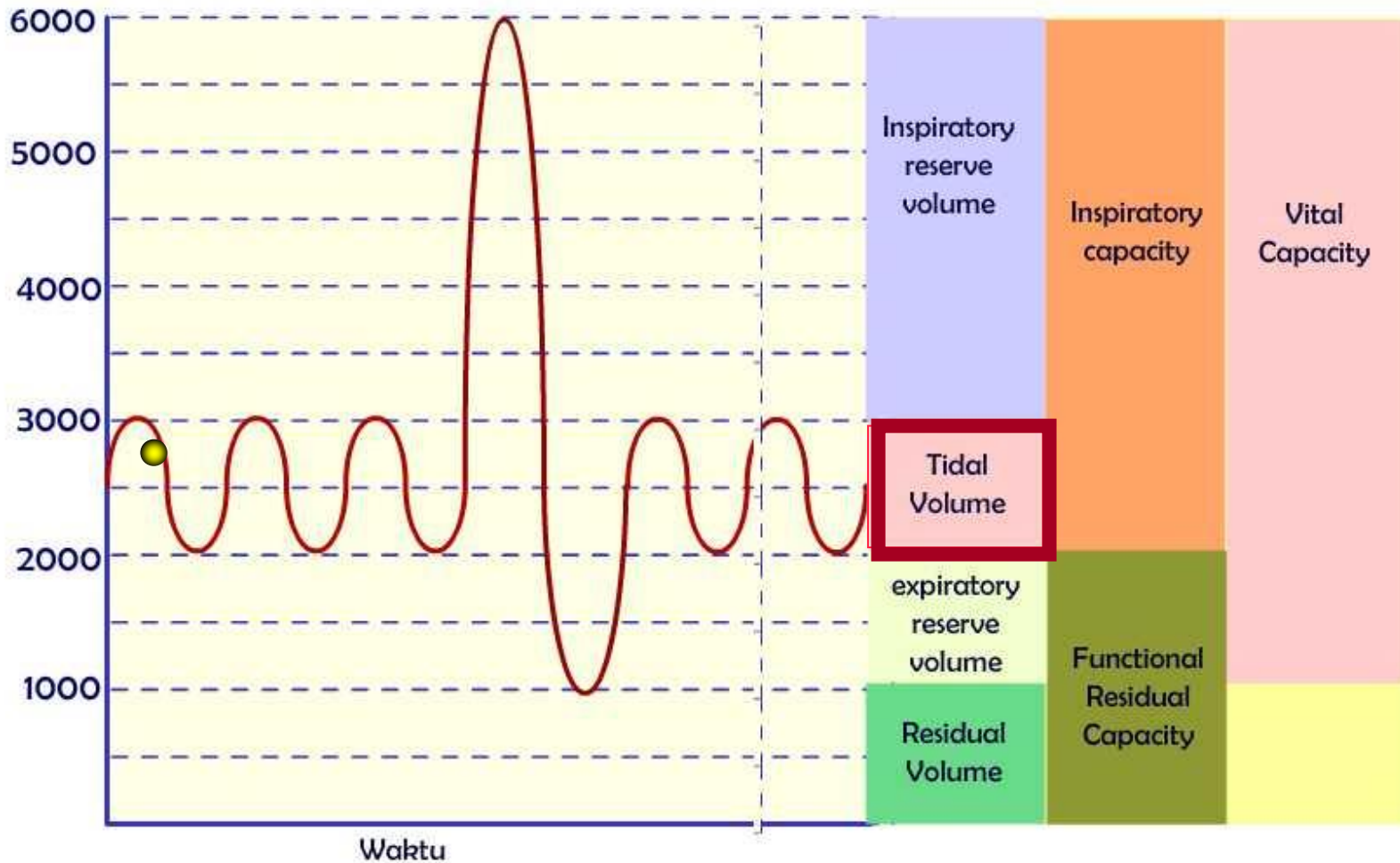
Vol \uparrow , tekanan \downarrow



IX. VOLUME DAN KAPASITAS PARU

VI. Ventilasi pulmoner

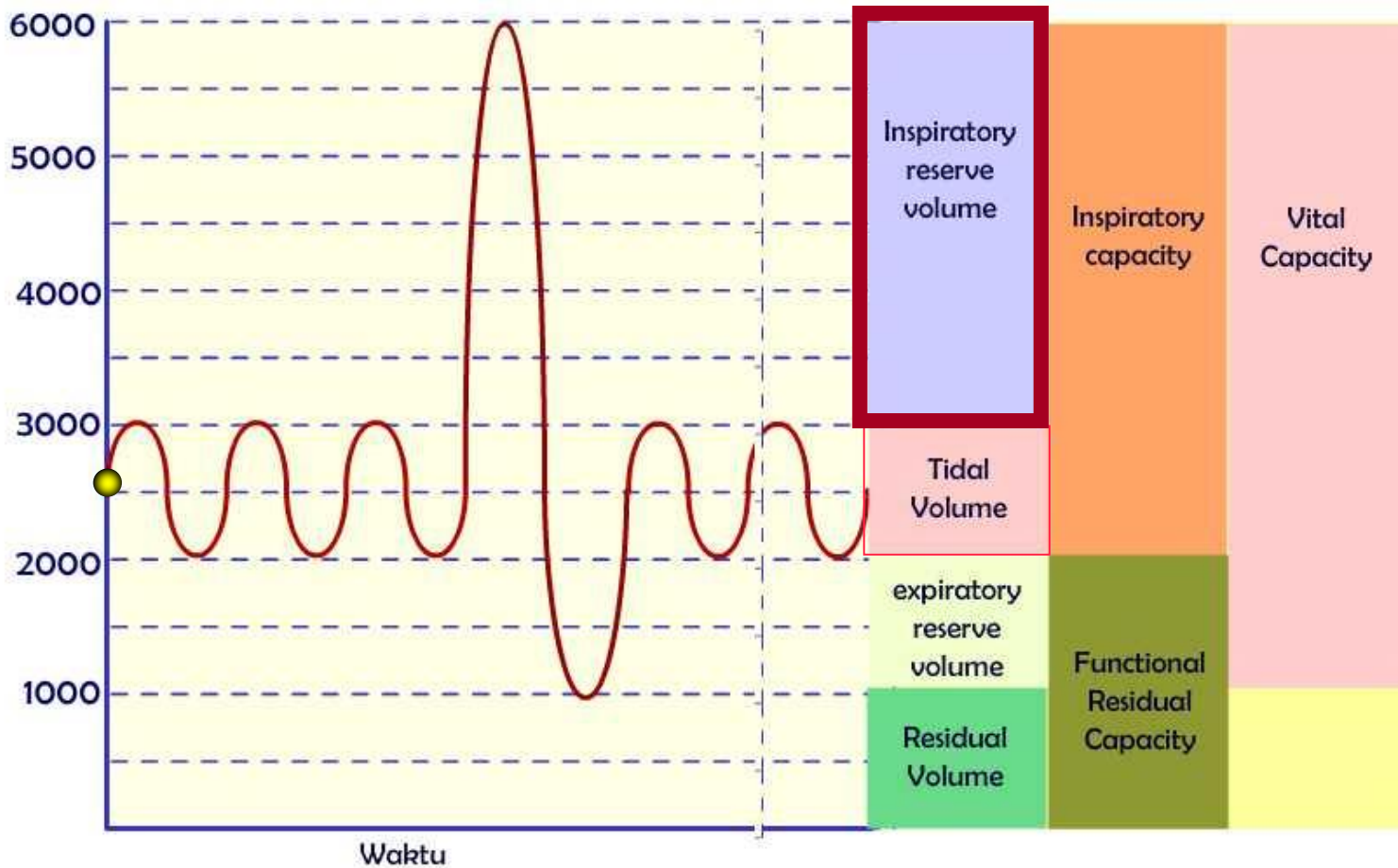
VI.16. Volume dan kapasitas paru



1. **Volume tidal:** volume udara yang di inspirasi atau ekspirasi setiap kali bernafas normal mencakup volume yang terdapat di alveoli dan jalan nafas. Volume 500 mL

VI. Ventilasi pulmoner

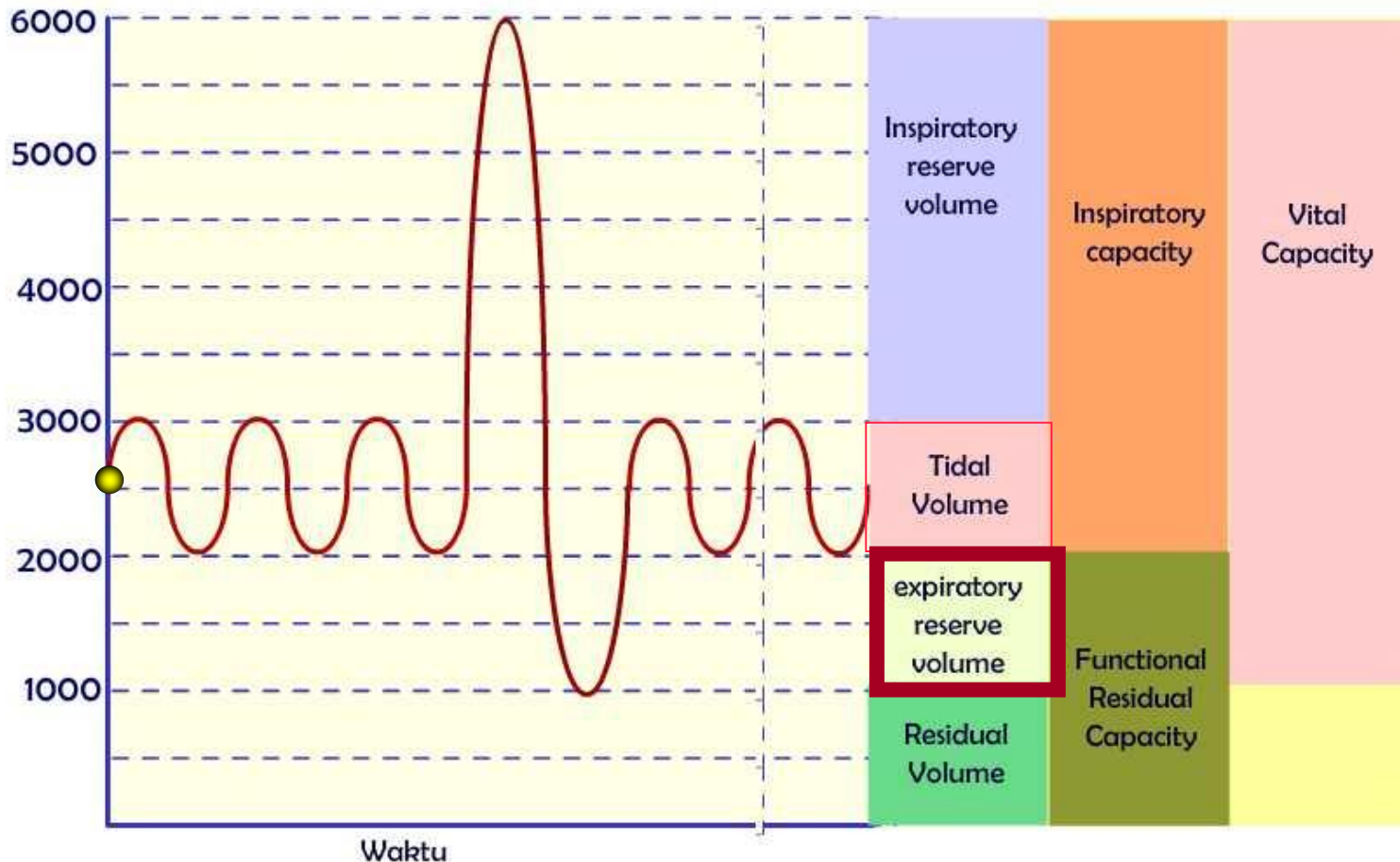
Volume dan kapasitas paru



2. **Volume cadangan inspirasi/Inspiratory reserve volume (IRV):** Volume udara ekstra yang masih dapat diinspirasi setelah inspirasi normal. Volume 3000 mL

VI. Ventilasi pulmoner

Volume dan kapasitas paru

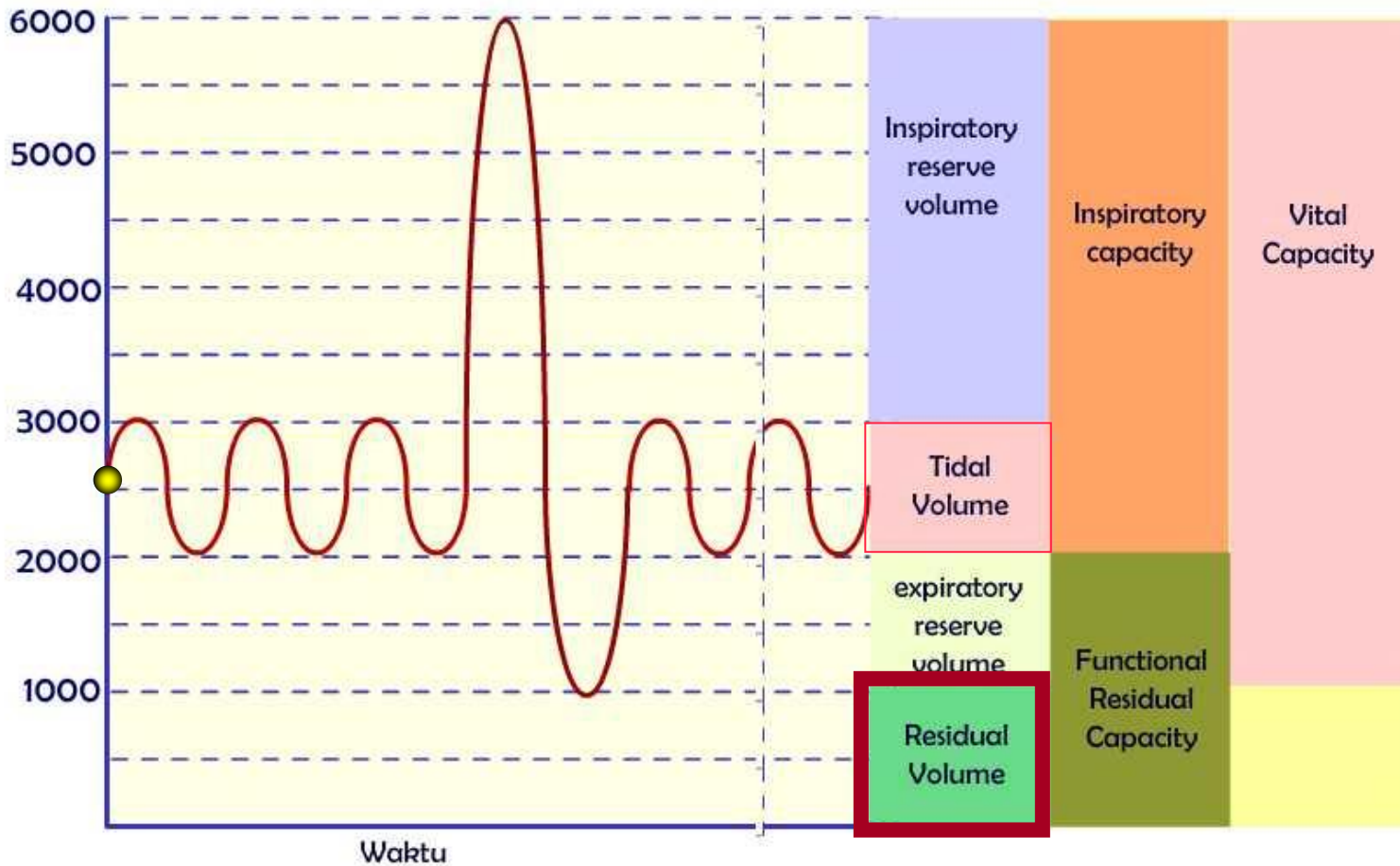


- 3. Volume cadangan ekspirasi/Expiratory reserve volume (ERV):** Volume udara ekstra yang masih dapat dikeluarkan setelah ekspirasi normal. Volume 1200 mL

Normal 80% dari vital capacity : $ERV/VC = 0,8$

VI. Ventilasi pulmoner

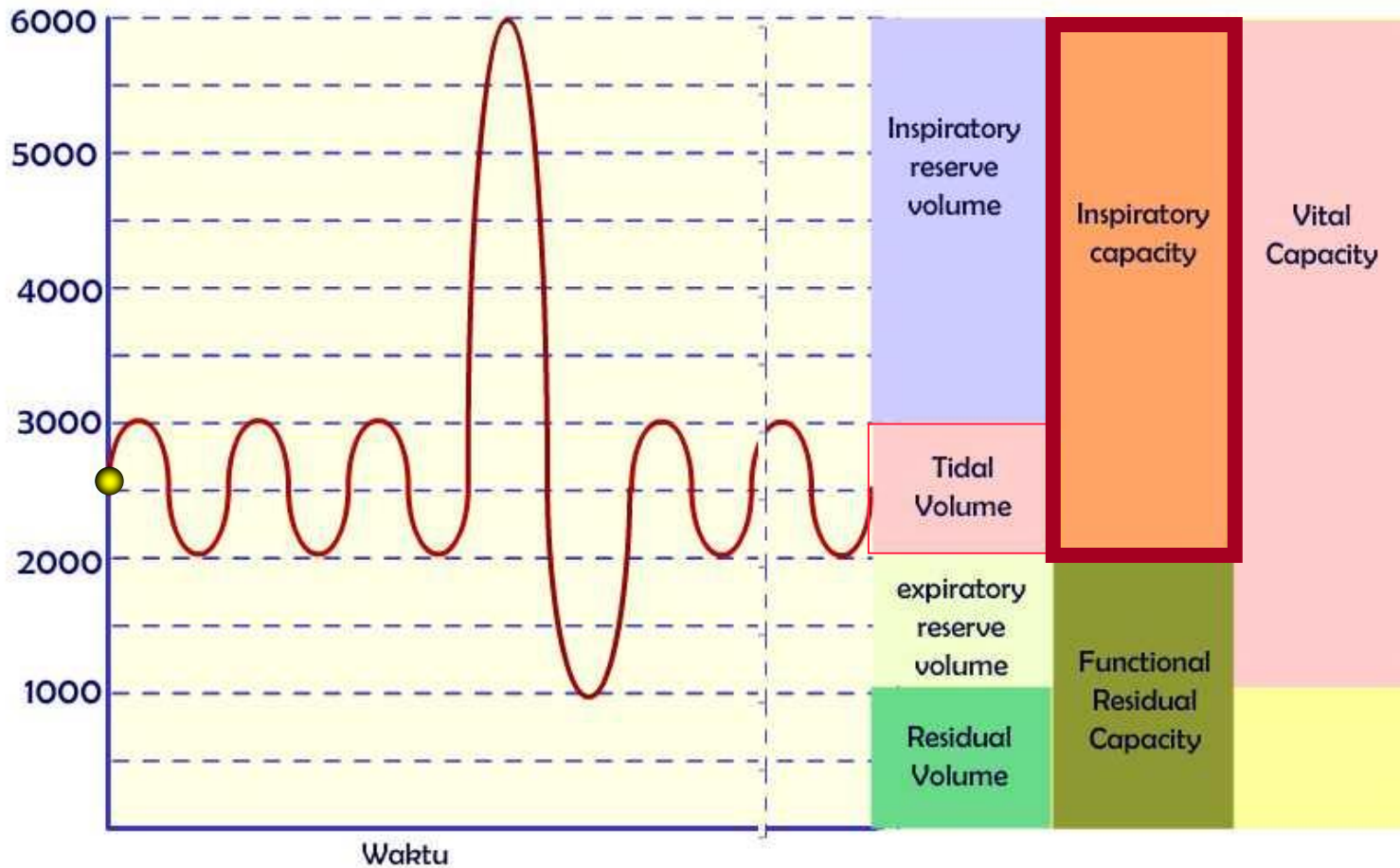
Volume dan kapasitas paru



- 4. Volume Residu:** Udara yang masih tetap berada dalam paru setelah ekspirasi paling kuat. Volume 1200 mL

VI. Ventilasi pulmoner

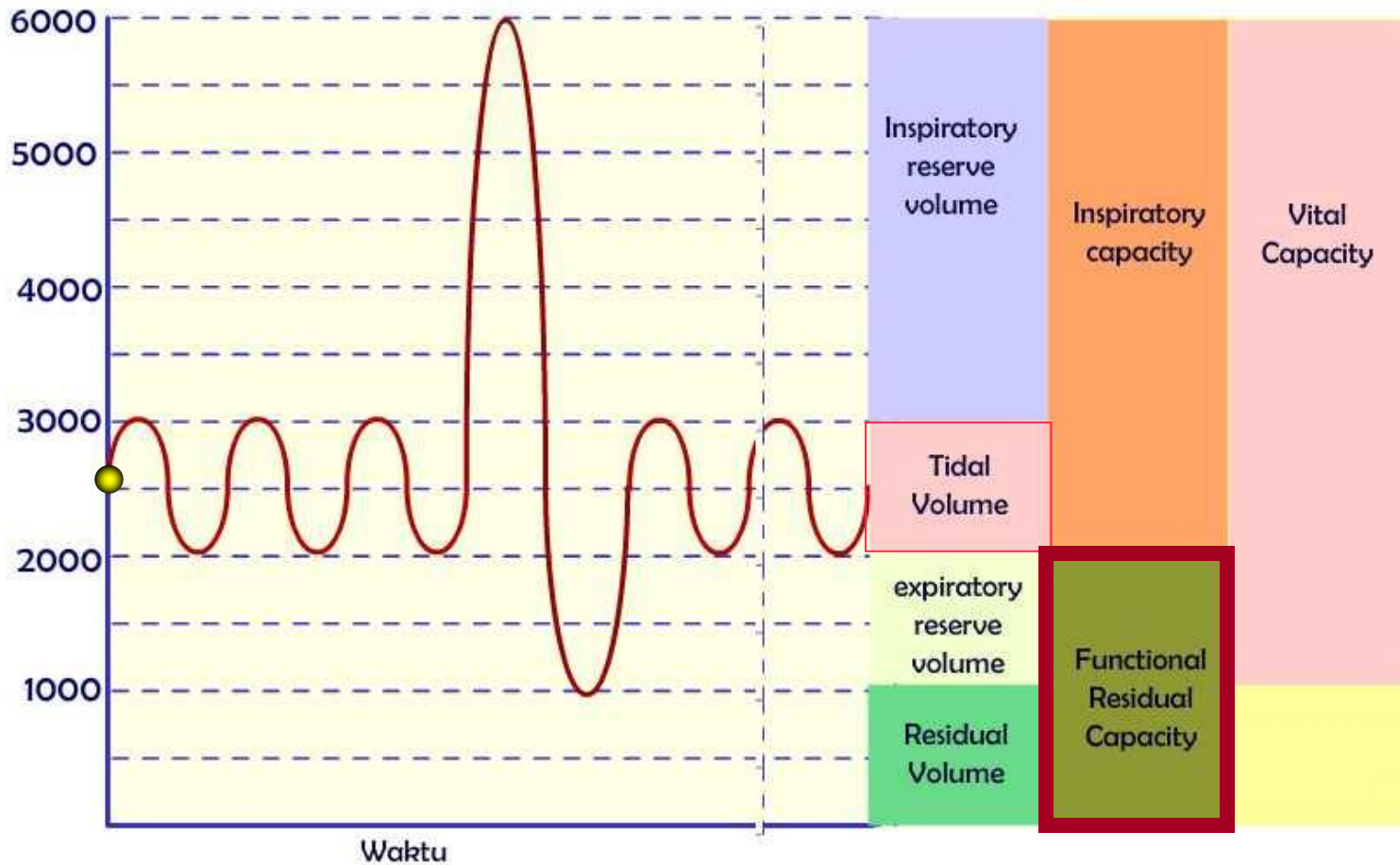
Volume dan kapasitas paru



- 1. Kapasitas inspirasi /Inspiratory capacity:** volume tidal + *inspiratory reserve volume* (3500 mL)

VI. Ventilasi pulmoner

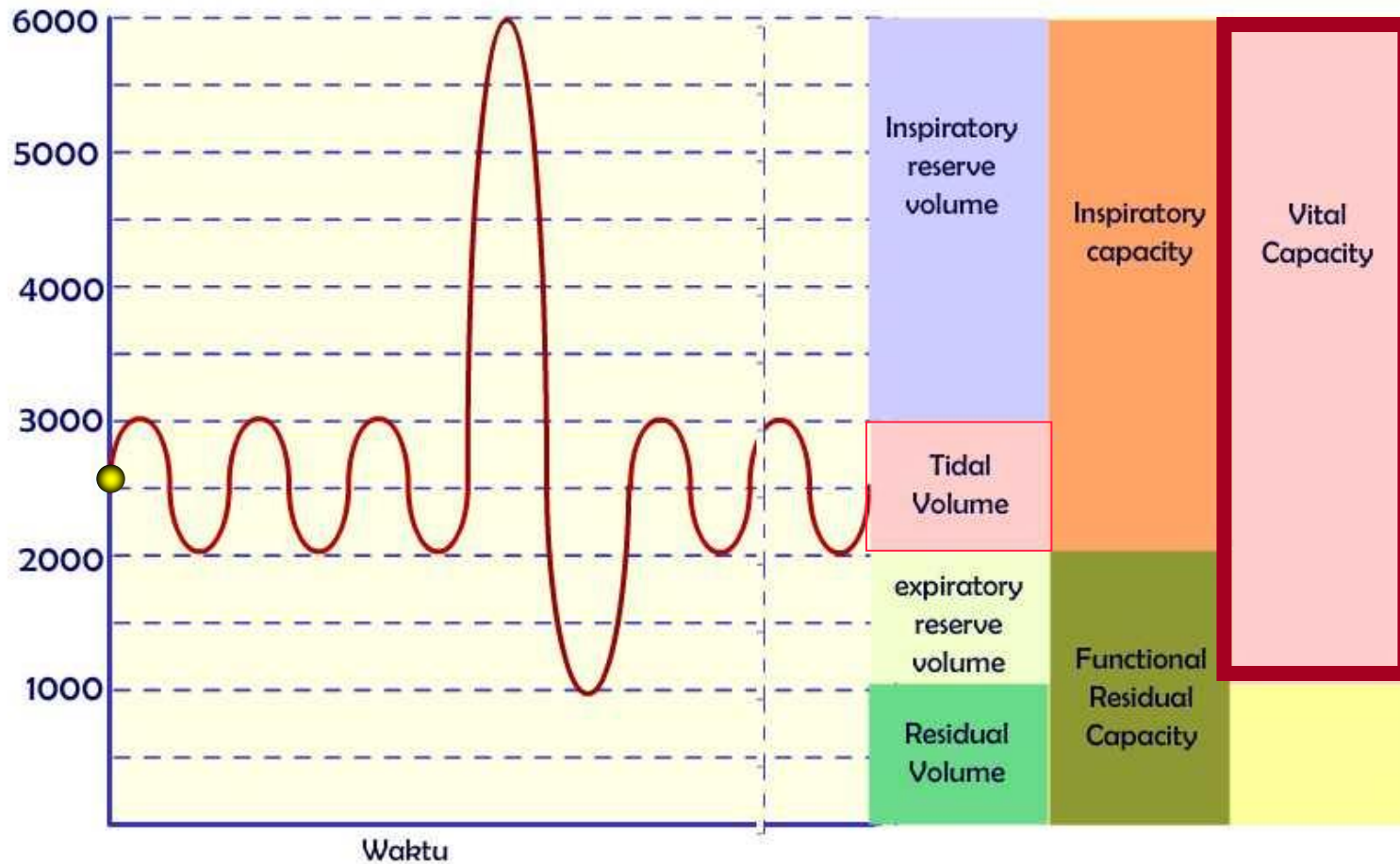
Volume dan kapasitas paru



- Kapasitas Residu fungsional/Functional residual capacity (FRC):**
expiratory reserve volume + volume residu (2400 mL)

VI. Ventilasi pulmoner

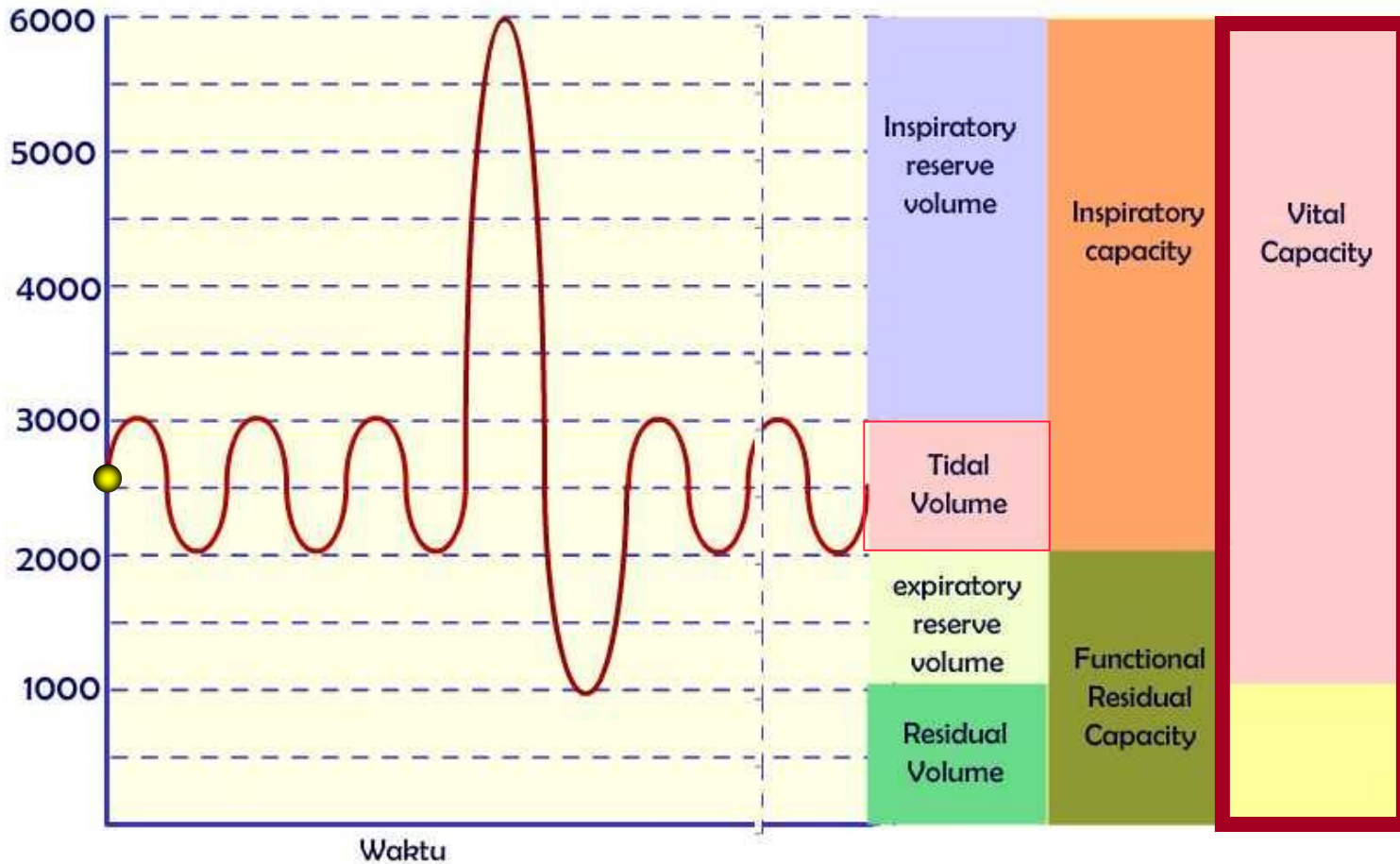
Volume dan kapasitas paru



- 1. Kapasitas Vital / Vital capacity:** expiratory reserve volume + volume tidal + inspiratory reserve volume (4700 mL)

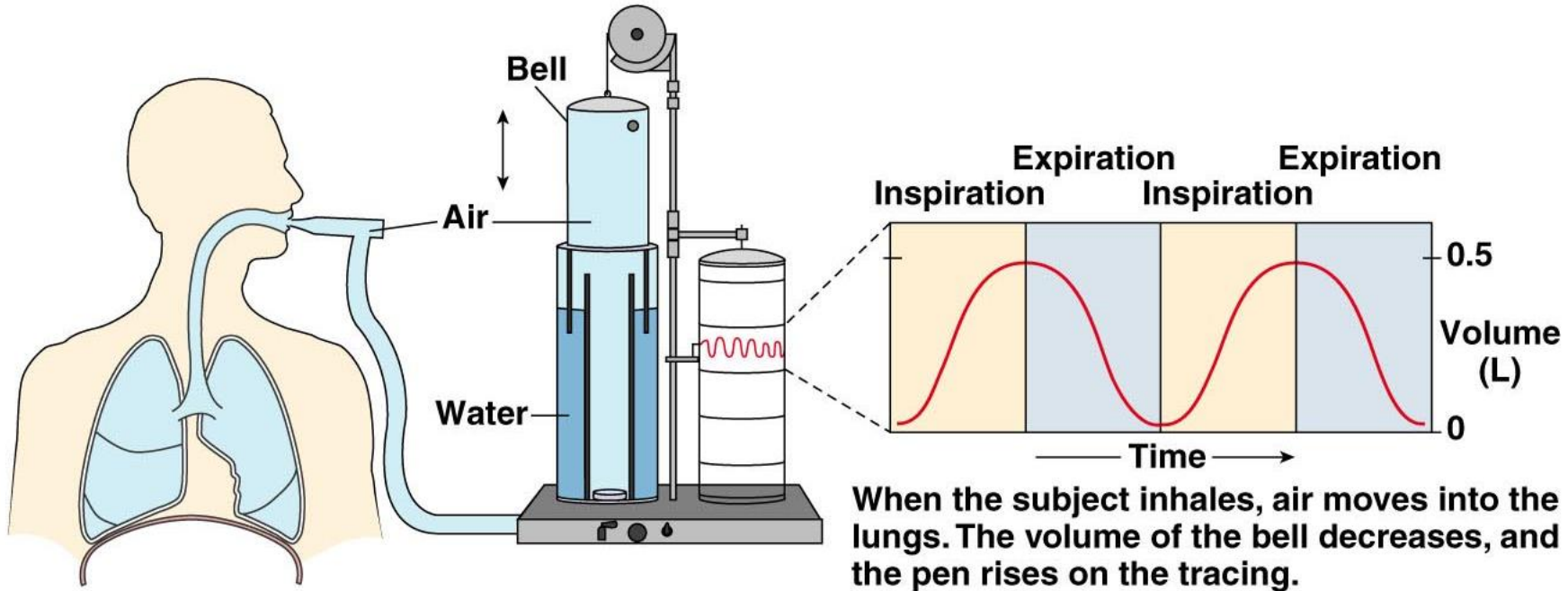
VI. Ventilasi pulmoner

Volume dan kapasitas paru



- 1. Kapasitas paru total / Total lung capacity:** vital capacity + residual volume (5900 mL)

Spirometer



Spirometer mengukur udara masuk/keluar paru, tetapi tidak volumen total paru, karena selalu ada residual volume

Dead Space

- *Dead space*:
 - Alveolar dead space: udara yang tidak dapat bertukar pada waktu respirasi
 - Anatomical dead space: conducting zone. Volumennya 150 mL
 - Physiological dead space:
 - volume paru yang tidak ikut pertukaran gas
 - jumlah anatomical dan alveolar dead space
 - pada penyakit paru yang mempunyai defect pada *ventilation/perfusion* maka physiology dead space lebih besar dari anatomical deadspace

$$V_D = V_T \times (P_{ACO_2} - P_{ECO_2}) / P_{A CO_2}$$

- V_d = physiologic dead space (mL)
- V_t = tidal volume (mL)
- P_{aCO_2} = P_{CO_2} of alveolar gas (mm Hg) = P_{CO_2} of arterial blood
- $P_{E_{CO_2}}$ = P_{CO_2} of expired air (mm Hg) $\left[\frac{V_T}{V_T + V_D} \right]$

Total pulmonary ventilation = ventilation rate \times tidal volume
 alveolar ventilation = ventilation rate \times (tidal volume – dead space)

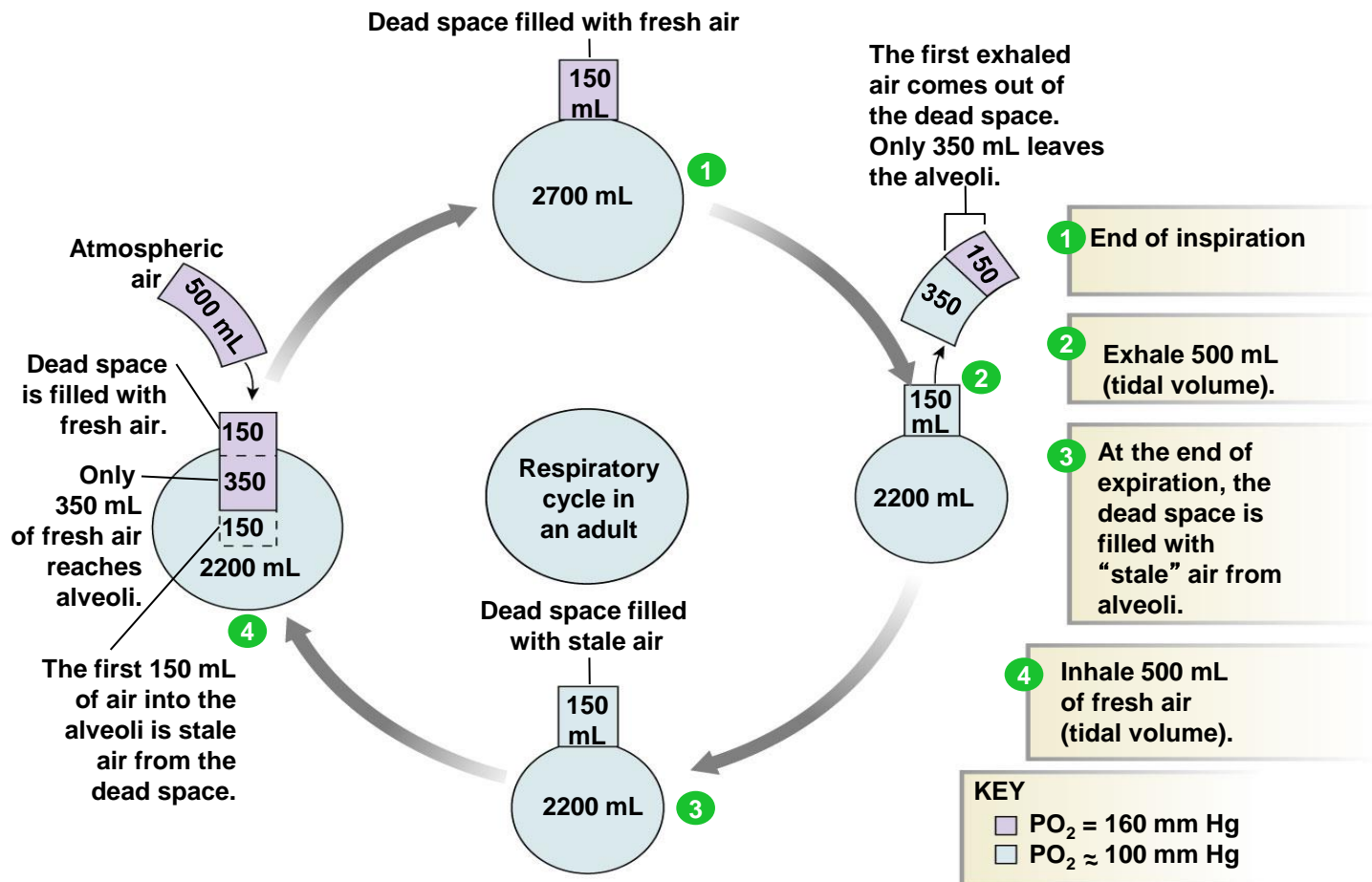


Figure 17-14